

Isótopos de oxígeno en rocas granulíticas hercínicas de la Región Central Española

C. Martín Romera¹, C. Villaseca¹ y L. Barbero²

1 Dpto. Petrología y Geoquímica, Fac. C. C. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

2 Dpt. Geología, Facultad C.C. del Mar, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, Cádiz, España.

ABSTRACT

O-isotope measurements have been made on different types of granulitic rocks from Central Spain (two groups from granulite-migmatite terranes of mid-crustal conditions, a third group from granulitic xenoliths from lower crustal levels). O-isotope fractionations define equilibrium temperatures significantly lesser than metamorphic peak estimates. This is explained as a consequence of fluid-rock interaction during cooling of granulitic terranes, being more resetted in the case of the Guadarrama sector. Major O-isotope homogeneity combined with a lowering in the $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios is defined by granulitic xenoliths. We propose homogenization and lowering of oxygen isotopic ratios in the lower crust to be related to the dehydration and partial melting suffered by these crustal protoliths with minor influx of external fluids. O-isotopes also corroborate the petrogenetical link between these granulitic xenoliths and the huge granitic batholith of the Spanish Central System.

Key words: oxygen isotopes, granulite terranes, migmatites, granulitic xenoliths, Iberian Hercynian Belt.

INTRODUCCIÓN

Las rocas granulíticas hercínicas de la Región Central Española estudiadas corresponden a materiales de dos áreas de amplia extensión de afloramiento, los terrenos granulíticos de Toledo (CAT) y la zona de Sotosalbos (Sierra de Guadarrama). Ambos sectores son áreas anatécicas con abundantes fenómenos migmatíticos, debidos a procesos de fusión parcial en condiciones de corteza media (las estimaciones P-T son parecidas en ambos sectores: 780-820°C y 4-6 kbar en Toledo, 750-790°C y 4-5 kbar en Guadarrama) (Barbero y Villaseca, 1992; Martín Romera *et al.*, 1999). Un tercer grupo de rocas granulíticas estudiadas corresponde a una suite de xenolitos transportados por diques lamprofídicos permo-triásicos, cuyo carácter restítico y paragénesis minerales en condiciones P-T estimadas en 875-925°C y 8-11 kbar permiten situar su origen en niveles profundos de la corteza (Villaseca *et al.*, 1999).

El Complejo Anatéctico de Toledo está constituido principalmente por un conjunto de migmatitas de composición pelítica, que exhiben una marcada estructura estromática, caracterizada por la alternancia de mesosomas ricos en cordierita y granate y estrechos leucosomas. También afloran diferentes tipos de granitoides anatécicos, los granitoides ricos en restitas tipo Layos y los leucogranitos tipo Cervatos (Barbero y Villaseca, 1992). En el sector de Sotosalbos los materiales granulíticos estudiados definen un pequeño

macizo de granitoides cordieríticos de aspecto nebulítico, que aflora entre un conjunto amplio de ortogneises glandulares variablemente migmatizados, también con desarrollo local de estructuras estromáticas y otras de tipo estictolítico. Finalmente, los xenolitos granulíticos de la corteza inferior son de dos tipos: xenolitos metaígneos félsicos y xenolitos metapelíticos.

Los estudios isotópicos de oxígeno llevados a cabo en este trabajo tanto en roca total (xenolitos y áreas anatécicas) como en minerales separados (exclusivamente en las granulitas migmatíticas de Toledo y Guadarrama), se han realizado con el fin de resolver varios problemas: a) estimación de las condiciones termométricas de equilibrio, b) estudio de la homogeneidad isotópica en granulitas migmatíticas, y c) identificación de fuentes y protolitos tanto de los materiales graníticos anatécicos del sector (en los terrenos granulíticos), como de los plutones graníticos alóctonos que construyen el batolito del Sistema Central Español y adyacentes (p.e. batolito de Mora-Las Ventas en Toledo).

COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LAS GRANULITAS AFLORANTES Y PROBLEMAS DE RE-EQUILIBRIO

Las composiciones isotópicas de oxígeno de las rocas estudiadas en estos terrenos varían en un rango comprendido entre 9.2 y 12.8 ‰, siendo mayor en los materiales

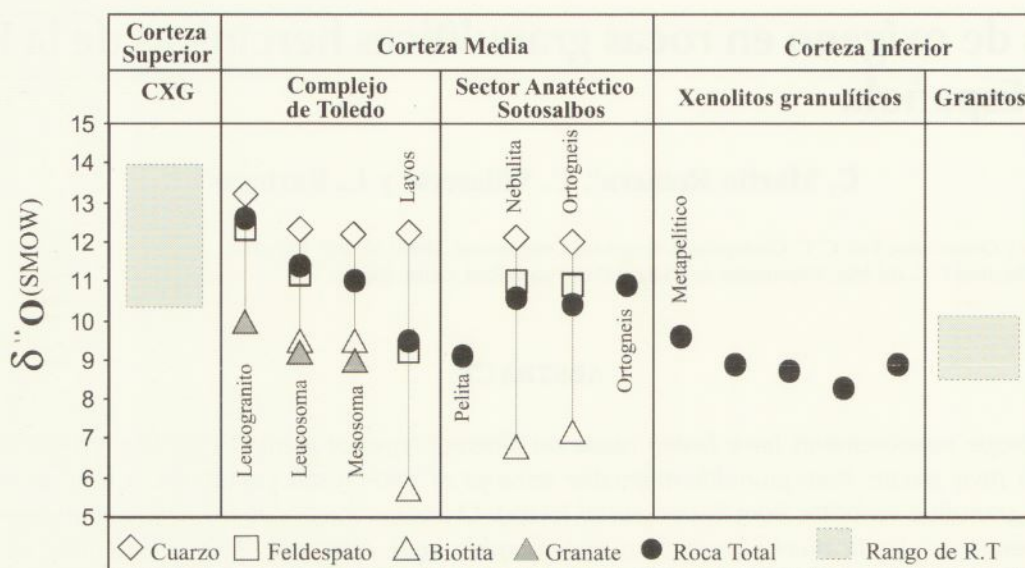


FIGURA 1: Rango de valores de composiciones isotópicas de oxígeno de los distintos litotipos estudiados y minerales separados en algunos de ellos. El rango de valores de materiales epizonales del complejo metasedimentario preordovícico (CXG) del sector occidental del Sistema Central Español está cogido de Recio *et al.* (1992).

anatéticos de Toledo que en Guadarrama (Fig. 1). En particular, los granitos anatéticos de Sotosalbos tienen las mismas relaciones de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ que los ortogneis de alrededor (poco variables, alrededor de 10.4-10.9 ‰), confirmando la similitud isotópica y relación petrogenética entre ambos litotipos, ya demostrada previamente con datos isotópicos de Sr y Nd (Martín Romera *et al.*, 1999). En Toledo, sin embargo, hay un incremento de $\delta^{18}\text{O}$ con el grado de acidez de las rocas migmatíticas como ha sido expuesto en otras áreas anatéticas (Jung *et al.*, 1998). Así los tipos más leucocráticos de Toledo (leucosomas y leucogranitos de anatexia) están en el rango máximo de 11.4-12.8 ‰ mientras que el mesosoma asociado presenta un valor isotópico de 11.0 ‰.

Las relaciones isotópicas de oxígeno de los minerales separados muestran el orden común de enriquecimiento en $\delta^{18}\text{O}$, es decir, cuarzo>feldespatos>biotita>granate (Fig. 1). Es de resaltar, que los materiales más félsicos o leucocráticos de Toledo presentan un mayor enriquecimiento en todos sus minerales comparados con los del mesosoma analizado, así p.e. el granate del leucosoma tiene un $\delta^{18}\text{O}$ mayor que el granate del mesosoma. Las diferencias entre minerales equivalentes del leucogranito anatético y del par leucosoma/mesosoma son aún mayores (Fig. 1).

El granito de Layos muestra una gran variabilidad isotópica de oxígeno entre sus componentes minerales (desde 5.6 ‰ para la biotita a 12.2 ‰ para el cuarzo). El origen de este granitoide por mezcla de fundidos ricos en material restítico diverso (Barbero y Villaseca, 1992), podría explicar en parte esta elevada heterogeneidad isotópica.

Se han realizado diagramas δ - δ entre pares minerales para comprobar si éstos se encuentran en condiciones de equilibrio o por el contrario han sufrido procesos que hayan alterado dichas condiciones (Gregory y Criss., 1986).

Según estos diagramas, parece que los pares cuarzo-granate y cuarzo-biotita para leucosoma/mesosoma y leucogranito de Cervatos se aproximan a las condiciones de equilibrio (curvas con pendientes igual a la unidad). El granitoide de Layos y los materiales del sector anatético de Sotosalbos (granitoide cordierítico y ortogneis glandular) no se ajustan de forma clara a dichas curvas. Sin embargo, el equilibrio mineral que parece darse en algunos de los materiales estudiados, nos permite ensayar cálculos termométricos. Las temperaturas obtenidas por isótopos de oxígeno varían según el método de cálculo empleado. Utilizando las constantes de Bottinga y Javoy (1975), las temperaturas que se obtienen del par cuarzo-biotita están en el rango de 875-900°C, mientras que el par cuarzo-granate da temperaturas inferiores: 675-690°C (Fig. 2). A partir del geotermómetro de Richter y Hoernes (1988) se obtienen valores muy próximos entre ambos pares minerales con temperaturas algo superiores a las del par cuarzo-granate previamente calculadas: 680-720°C (Fig. 2). En el caso de las migmatitas de Sotosalbos, también se ha llevado a cabo cálculos geotermométricos con el par cuarzo-biotita, resultando valores de temperaturas bastante menores, en el rango de 560-603°C, independientemente del geotermómetro utilizado.

En cualquier caso, estos datos termométricos obtenidos con los isótopos de oxígeno son inferiores a los datos del pico metamórfico conocidos por estimaciones geotermobarométricas, basadas en las paragénesis minerales de las granulitas (Barbero y Villaseca, 1992; Martín Romera *et al.*, 1999). Así, en el sector de Toledo la termometría de oxígeno sería inferior en casi 100°C a la previamente estimada del pico metamórfico, mientras que en el caso de Guadarrama salen temperaturas inferiores de más de 200°C. Estas diferencias termométricas podrían ser debidas a re-

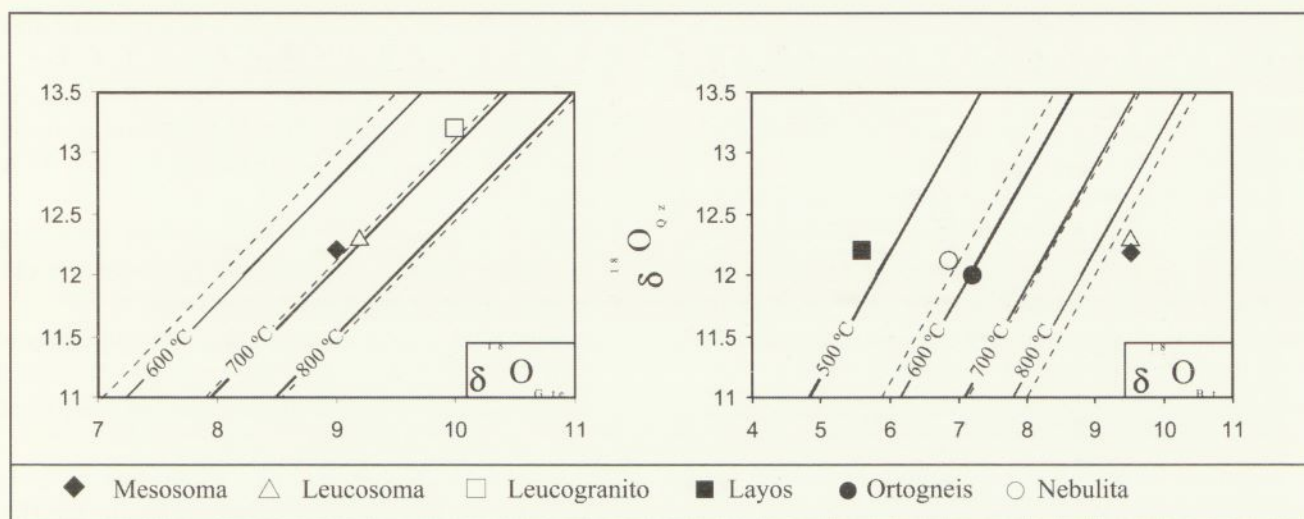


FIGURA 2: Diagrama δ - δ de los pares minerales cuarzo-biotita y cuarzo-granate para rocas migmatíticas de los terrenos granulíticos aflorantes. Las isothermas proyectadas están calculadas con los métodos de Bottinga y Javoy (1975) (rectas llenas) ó de Richter y Hoernes (1988) (rectas discontinuas). Para el par cuarzo-granate ambas isothermas son casi coincidentes, mientras que en el caso del par cuarzo-biotita (diagrama de la derecha), las isothermas calculadas por Richter y Hoernes (1988) tienen un valor 100°C menor que las calculadas por Bottinga y Javoy (1975). Ver texto para más aclaraciones.

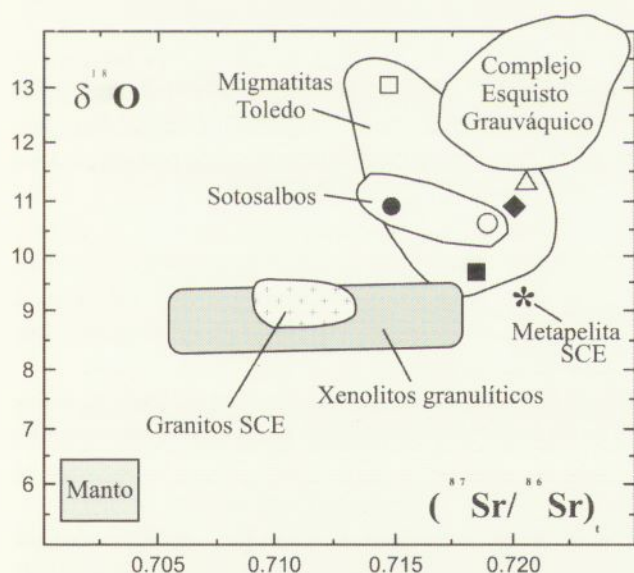


FIGURA 3: Diagrama de isótopos de Sr-O de diversos litotipos de la Región Central Española. Las relaciones isotópicas de Sr están calculadas para tiempos hercínicos. Los símbolos son los mismos que en la figura 2.

ajustes isotópicos producidos durante los diferentes procesos de retrogradación sufridos por ambas áreas. A este respecto conviene indicar, que el área granulítica de Toledo sufre un enfriamiento mucho más rápido (a los 300 Ma está a T inferiores a 60°C según modelizaciones basadas en datos de huellas de fisión en apatitos, Barbero *et al.*, 1999) mientras que en el área de Guadarrama parece que el enfriamiento post-hercínico ha sido mas lento (de Bruijne y Andriesen, 2000). Otro aspecto importante a este respecto, es la posibilidad de que en el sector de Guadarrama los sistemas isotópicos hayan sido modificados como consecuencia de una mayor actividad de fluidos, pues los fenó-

menos episieníticos y de venas hidrotermales son muy comunes. El bloque de Guadarrama muestra, pues, una historia de enfriamiento y retrogradación mucho más larga y compleja que el de Toledo.

COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LOS XENOLITOS GRANULÍTICOS Y PROBLEMAS DE EVOLUCIÓN ISOTÓPICA CORTICAL

Los análisis de isótopos de oxígeno en xenolitos granulíticos de la corteza inferior definen un estrecho rango de valores 8.3-9.6 ‰, indicando tanto una mayor homogeneidad isotópica de los niveles infracrustales como una disminución de los contenidos de $\delta^{18}\text{O}$ respecto a rocas equivalente en composición, más superficiales (Fig. 1).

La homogeneidad de valores isotópicos de oxígeno viene en parte definida por la ausencia de diferencias composicionales entre los distintos litotipos. Así el único xenolito granulítico pelítico analizado tiene un valor de $\delta^{18}\text{O}$ medio de 9.3 ‰ sólo ligeramente superior a los valores de granulitas félsicas meta-ígneas (8.3-9.3 ‰) (Fig. 1). En las granulitas de terrenos migmatíticos de corteza media la variabilidad isotópica es mayor (p.e. en Guadarrama la pelita de Turégano tiene 9.2 ‰ y los ortogneis próximos 10.1-10.9 ‰) e incluso parece tender a aumentar con el propio proceso de migmatización (en Toledo los leucogranitos de anatexia son de hasta 12.8 ‰ y el mesosoma restítico de 10.2 ‰, más de 2.5 unidades de $\delta^{18}\text{O}$ de diferencia). Es decir, así como en otras zonas corticales parecen estar mejor preservadas las composiciones isotópicas de los protolitos originales, en la corteza inferior podría existir una mayor homogeneidad. Tres procesos se aducen para explicarlo (Holck y Taylor, 1997): a) una inicial homogeneidad de protolitos, b) influjo o intercambio con fluidos oxigenados externos,

c) homogenización interna (en sistema cerrado) durante la anatexis. El primer proceso ya ha sido discutido previamente y no parece plausible en nuestro marco geológico de discusión. En cuanto a la hipótesis de homogenización a gran escala en un sistema abierto, hay dos fuentes de fluidos externos que pueden producir dicha disminución isotópica: materiales carbonatados en las series metamórficas o intercambio con reservorios máficos en profundidad (Holk y Taylor, 1997). Niveles de mármoles importantes no han sido encontrados ni en el material aflorante, ni en los xenolitos expatriados en diques lompofídicos, además su influencia sólo podría explicar una disminución siempre menor a la unidad del valor de $\delta^{18}\text{O}$. Por otra parte, la ausencia de materiales máficos en la suite xenolítica granulítica así como la dificultad de emigración pervasiva eficiente, en un medio rocoso infracrustal tan impermeable y seco (ausencia casi total de minerales hidratados, Villaseca *et al.*, 1999), son serias dificultades para poder atribuir el hecho de la homogeneización a la hipótesis de fluidos de derivación mantélica. En este trabajo proponemos como más probable la hipótesis de una homogeneización isotópica en valores de $\delta^{18}\text{O}$ durante la fusión que origina estos xenolitos granulíticos. Estas granulitas tienen una composición claramente restítica ya que se les ha extraído líquidos graníticos equivalentes en composición a los granitos hercínicos peralumínicos aflorantes (Villaseca *et al.*, 1999). De hecho, la similitud en composiciones isotópicas de oxígeno entre ambos materiales (Fig. 3) se suma a otros datos petrológicos, geoquímicos e isotópicos previos (Sr, Nd), sugiriendo que estos xenolitos son los auténticos residuos de fusión del gran batolito granítico del Sistema Central Español.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los doctores Clemente Recio y José María Ugidos del Servicio General de Análisis de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, la obtención de los datos isotópicos incluidos en este estudio. Este trabajo se ha subvencionado económicamente con el proyecto DGES PB96-0661 del Ministerio de Educación y Cultura de España.

REFERENCIAS

Barbero, L. y Villaseca, C. (1992): The Layos Granite, Hercynian Complex of Toledo (Spain): an example of

- parautochthonous restite-rich granite in a granulitic area. *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, 83: 127-138.
- Barbero, L., Carter, A. y Hurford, A. (1999): Post-variscan evolution of the Montes de Toledo: a preliminary apatite fission track study. *Bol. Soc. Española Mineral.*, 21-A: 42-43.
- Bottinga, Y. y Javoy, M. (1975): Oxygen isotope partitioning among the minerals in igneous and metamorphic rocks. *Rev. Space Phys. Geophys.*, 13: 401-418.
- de Bruijne, C.H. y Andriesen, P.A.M. (2000): Interplay of intraplate tectonics and surface processes in central Spain, assessed by apatite fission track analysis. *Geol. Soc. Australia*, 208: 60-61.
- Gregory, R.T. y Criss, R.E. (1986): Isotopic exchange in open and closed systems. En Valley, J.W., Taylor, H.P. Jr y O'Neil, J.R. (eds.) *Stable isotopes in high temperature geological processes*. *MSA Reviews Mineral.*, 16: 91-127.
- Holk, G.J. y Taylor, H.P. Jr. (1997): $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ homogenization of the middle crust during anatexis: The Thord-Odin metamorphic core complex, British Columbia. *Geology*, 25: 31-34.
- Jung, S., Mezger, K., Masberg, P., Hoffer, E. y Hoernes, S. (1998): Petrology of an intrusion-related high-grade migmatite: implications for partial melting of metasedimentary rocks and leucosome-forming processes. *Jour. metamorphic Geol.*, 16: 425-445.
- Martín Romera, C., Villaseca, C. y Barbero, L. (1999): Materiales anatécnicos en el área de Sotosalbas (Segovia, Sierra de Guadarrama). Caracterización petrológica, geoquímica e isotópica (Sr, Nd). *Actas II Congreso Ibérico de Geoquímica, Lisboa (Portugal)*: 329-332.
- Recio, C., Fallick, A.E. y Ugidos, J.M. (1992): A stable isotopic ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{18}\text{D}$) study of the late-Hercynian granites and their host-rocks in the Central Iberian Massif (Spain). *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.* 83: 247-257.
- Ritcher, R. y Hoernes, S. (1988): The application of the increment method in comparison with experimentally derived and calculated O-isotope fractionations. *Chem. Erde*, 48: 1-18.
- Villaseca, C., Downes, H., Pin, C. y Barbero, L. (1999): Nature and composition of the lower continental crust in Central Spain and the granulite-granite linkage: Inferences from granulitic xenoliths. *Jour. Petrol.*, 40: 1465-1496.